МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АНСАМБЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ СЛОЖНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ОКРУЖАЮЩЕГО ПРОСТРАНСТВА¹

Акопов А.С., Бекларян Л.А. (Москва)ⁱ

В настоящее время актуализируется задача безопасного внедрения наземных беспилотных транспортных средств (БТС) в городские дорожные сети. При этом возникает множество проблем, обусловленных характеристиками окружающего пространства, среди которых можно выделить следующие:

- сложность маневрирования в интенсивном дорожном потоке, в котором также присутствуют обычные (т.е. управляемые) транспортные средства (ОТС), водители которых могут находиться в состоянии паники, что обуславливает возникновение эффектов «турбулентности» и «давки» [1];
- формирование множественных «дорожных заторов», существенно затрудняющих трафик выходного потока, для идентификации и объезда которых можно использовать предложенные алгоритмы нечёткой и иерархической кластеризации [2, 3];
- наличие агентов с непредсказуемым поведением, например, агентов-пешеходов, неожиданно возникающих на проезжей части, что может привести к аварийной ситуации, т.к. возможности быстрого распознавания и принятия решений в подобных ситуациях со стороны БТС ограничены;
- трудность управления БТС в условиях недостаточной видимости, обуславливающей снижение качества системы индивидуальной оценки окружающего пространства (например, с целью эффективного маневрирования при обгоне, смене полос движения, для объезда пробок и при экстренном торможении).

Для преодоления вышеуказанных трудностей был разработан новый класс имитационных моделей движения ансамбля БТС во взаимодействии с ОТС с нормальным и аномальным поведением, а также агентами-пешеходами, при сложной конфигурации окружающего пространства, в частности, на примере искусственной дорожной сети класса «Манхэттенская решётка» (рис 1). Важной особенностью подобных моделей является использование феноменологического подхода [1, 2], учитывающего понятие радиуса личного пространства агента, применение методов нечёткой кластеризации для оценки

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-29- 06003.

плотности трафика и маневрирования при смене полос движения [3], использование быстрой иерархической кластеризации для идентификации мест возникновения «дорожных заторов» и их объезда БТС на основе оценки плотности окружающего пространства и маневрирования в зонах принятия решений (на перекрестках) и выбора наилучшего маршрута из имеющихся альтернатив и др.

Программная реализация подобных моделей была выполнена с использованием платформы крупномасштабного агент-ориентированного моделирования FLAME GPU [5], с последующем проведением серии вычислительных экспериментов на суперкомпьютере ЦЭМИ РАН – FORSITE DSWS PRO (QUADRO RTX 6000) мощностью 16,3 Терафлопс. При этом в разработанных моделях обеспечивается создание и управление динамикой более 100 000 агентов (БТС, ОТС с нормальным и аномальным поведением, и пешеходов).

Рис. 1. Моделирование движения БТС и ОТС в искусственной дорожной сети с использованием FLAME GPU

Проведенные численные эксперименты, были направлены на оценку динамики потенциальных аварий с участием БТС, ОТС и пешеходов при различных сценарных условиях (например, в условиях недостаточной видимости, при наличии большого числа ОТС с аномальным поведением, при возникновении множественных «дорожных заторов» и др.). В результате были найдены характеристики интеллектуальной транспортной системы (например, скорости движения БТС и ОТС, интенсивности прибытия агентов-ТС, оптимальная конфигурация дорожной сети и др.), при которых обеспечивается требуемый

уровень безопасности движения ансамбля БТС и ОТС, даже при неблагоприятных характеристиках внешней среды. Продемонстрирована эффективность и устойчивость разработанной системы управления БТС по отношению к внешним возмущающим воздействиям.

Литература

- Акопов А.С., Бекларян Л.А., Хачатрян Н.К., Бекларян А.Л., Кузнецова Е.В.* Многоагентная система управления наземными беспилотными транспортными средствами // Информационные технологии. 2020. Т. 26. № 6. С. 342-353.
- Акопов А.С., Хачатрян Н.К., Бекларян Л.А., Бекларян А.Л.* Система управления беспилотными транспортными средствами на основе нечеткой кластеризации. Часть 1. Модель движения транспортных средств // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2020. Т. 17. № 9. С. 3-12.
- Акопов А.С., Хачатрян Н.К., Бекларян Л.А., Бекларян А.Л.* Система управления беспилотными транспортными средствами на основе нечеткой кластеризации. Часть 2. Нечеткая кластеризация и программная реализация // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2020. Т. 17. № 10. С. 21-29.
- Müllner D.* Fastcluster: Fast Hierarchical, Agglomerative Clustering Routines for R and Python // Journal of Statistical Software. 2013. Vol. 53, no. 9, Pp. 1-18.
- Richmond P.* FLAME GPU Technical Report and User Guide, University of Sheffield, Department of Computer Science Technical Report CS-11-03. <https://readthedocs.org/projects/flamegpu/downloads/pdf/latest/> (дата обращения: 21.02.2021).

ⁱАкопов Андраник Сумбатович – ЦЭМИ РАН, akopovas@umail.ru
Бекларян Левон Андреевич – ЦЭМИ РАН, beklar@cemi.rssi.ru